

УДК 629.017

*ПОДРИГАЛО М.А., ФАЙСТ В.Л., ХНАДУ*

## РАЗГОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Визначено потенційні динамічні можливості автомобіля й отримані розгінні характеристики автомобільного двигуна.

**Введение.** Способность автомобилей вписываться в интенсивный транспортный поток определяется их динамическими свойствами. В последние годы, у легковых автомобилей среднего и высокого класса наметилась тенденция увеличения удельной мощности, т.е. мощности, приходящейся на единицу веса машины. Этот параметр является показателем функциональной и технической эффективности [1] технического изделия.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Важнейшим направлением повышения технического уровня и качества машины является увеличение их единичной мощности [1]. Увеличение мощности двигателя автомобиля позволяет улучшить его приемистость, максимальную скорость движения и начальное ускорение при разгоне. В работе [2] предложена методика кваліметрирования транспортних средств по критерию оценки кінетическої енергії, расходуемой на движение груза с учетом особенностей конструкции вида транспортного средства. Однако система оценок, предложенная в работе [2], не учитывает динамические свойства автомобилей, проявляющиеся при разгоне.

**Цель и постановка задач исследования.** Целью исследования является оценка потенциальных динамических свойств автомобилей. Для достижения указанной цели необходимо решить следующую задачу: определить разгонные характеристики двигателя автомобиля, т.е. зависимость мощности и крутящего момента двигателя от угловой скорости коленчатого вала двигателя.

**Определение разгонных характеристик автомобильного двигателя.** Для оценки динамики разгона автомобиля предлагается разгонная характеристика двигателя, показывающая изменение эффективной мощности  $N_e$  и эффективного крутящего момента  $M_e$  двигателя в зависимости от угловой скорости коленчатого вала при разгоне автомобиля.

Эффективная мощность двигателя определяется как

$$N_e = M_e \cdot \omega_e. \quad (1)$$

Характеристикой управляемости двигателя, в том числе и при разгоне, может являться производная эффективной мощности по времени  $t$  либо по угловой скорости  $\omega_e$

$$\frac{dN_e}{dt} = M_e \cdot \frac{d\omega_e}{dt} + \omega_e \cdot \frac{dM_e}{dt}; \quad \frac{dN_e}{d\omega_e} = M_e + \omega_e \cdot \frac{dM_e}{d\omega_e}. \quad (2)$$

Эффективный крутящий момент двигателя определяется суммарным крутящим моментом  $\sum M_k$  на ведущих колесах автомобиля

$$M_e = \frac{\sum M_k}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}}, \quad (3)$$

где  $u_{mp}$  – общее передаточное отношение трансмиссии;

$\eta_{mp}$  – КПД трансмиссии.

Суммарный крутящий момент на ведущих колесах

$$\sum M_k = \sum M_f \pm P_y \cdot r_d + P_{\text{букс}} \cdot r_d + P_w \cdot r_d + \delta \cdot m_a \cdot r_d \cdot \frac{dV_a}{dt}, \quad (4)$$

где  $r_d$  – динамический радиус колеса;

$\sum M_f$  – суммарный момент сопротивления качению на колесах,

$$\sum M_f = m_a \cdot g \cdot f \cdot r_d; \quad (5)$$

$m_a$  – общая масса автомобиля;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$f$  – коэффициент сопротивления качению;

$P_y$  – сила сопротивления движению автомобиля на уклоне,

$$P_y = m_a \cdot g \cdot \sin \alpha \approx m_a \cdot g \cdot \alpha \approx m_a \cdot g \cdot i; \quad (6)$$

$\alpha, i$  – угол уклона и уклон пути,

$$i = \arctg \alpha; \quad (7)$$

$P_{\text{букс}}$  – сила, затрачиваемая на буксование ведущих колес,

$$P_{\text{букс}} = \frac{N_{\text{букс}}}{V_a}; \quad (8)$$

$V_a$  – линейная скорость автомобиля;

$N_{\text{букс}}$  – мощность, затрачиваемая на буксование ведущих колес,

$$N_{\text{букс}} = K_{\text{сц}} \cdot m_a \cdot g \cdot \varphi \cdot V_{\text{букс}}; \quad (9)$$

$\varphi$  – коэффициент сцепления колес с дорогой;

$K_{\text{сц}}$  – коэффициент использования сцепного веса;

$V_{\text{букс}}$  – скорость буксования ведущих колес автомобиля,

$$V_{\text{букс}} = \omega_k \cdot r_{\partial} - V_a; \quad (10)$$

$\omega_k$  – угловая скорость ведущих колес;

$P_w$  – сила аэродинамического сопротивления,

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a^2; \quad (11)$$

$k \cdot F$  – фактор сопротивления воздуха [3];

$\delta$  – коэффициент учета вращающихся масс двигателя и трансмиссии [4].

В литературе [4] буксование ведущих колес оценивается относительным буксованием

$$S_x = \frac{V_{\text{букс}}}{\omega_k \cdot r_{\partial}} = \frac{\omega_k \cdot r_{\partial} - V_a}{\omega_k \cdot r_{\partial}} = 1 - \frac{V_a}{\omega_k \cdot r_{\partial}}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) определим  $V_{\text{букс}}$  и  $V_a$

$$V_{\text{букс}} = \omega_k \cdot r_{\partial} \cdot S_x; \quad V_a = \omega_k \cdot r_{\partial} \cdot (1 - S_x). \quad (13)$$

Подставляя выражение для  $V_{\text{букс}}$  (13) в (9), а затем в (8), получим

$$P_{\text{букс}} = K_{\text{ц}} \cdot m_a \cdot g \cdot \varphi \cdot \frac{S_x}{1 - S_x}. \quad (14)$$

Таким образом, выражение (3), после подстановки в него соотношений (5), (6), (11), (14) и (4), примет вид

$$M_e = \frac{m_a \cdot g \cdot r_{\partial}}{\eta_{\text{мп}} \cdot u_{\text{мп}}} \cdot \left( \psi + K_{\text{ц}} \cdot \varphi \cdot \frac{S_x}{1 - S_x} + \frac{k \cdot F}{m_a \cdot g} \cdot V_a^2 + \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dV_a}{dt} \right), \quad (15)$$

где  $\psi$  – суммарный коэффициент дорожного сопротивления [4],

Ускорение, развиваемое автомобилем при разгоне

$$\frac{dV_a}{dt} = K_{\text{ц}} \cdot \varphi \cdot g - \frac{k \cdot F}{m_a} \cdot V_a^2. \quad (16)$$

После подстановки уравнения (16) в выражение (15) и выражения линейной скорости автомобиля  $V_a$  через угловую скорость вала двигателя  $\omega_e$  с помощью соотношения (15), получим

$$M_e = \frac{m_a \cdot g \cdot r_\partial}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}} \cdot \left( \psi + K_{cy} \cdot \varphi \cdot \left( \frac{S_x}{1 - S_x} + \delta \right) - \frac{k \cdot F}{m_a \cdot g} \cdot (1 - S_x)^2 \cdot (\delta - 1) \cdot \frac{\omega_e^2}{u_{mp}^2} \cdot r_\partial^2 \right). \quad (17)$$

Из выражения (17) определим

$$\frac{dM_e}{d\omega_e} = - \frac{2 \cdot k \cdot F \cdot r_\partial^3 \cdot (1 - S_x)^2 \cdot (\delta - 1)}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}^3} \cdot \omega_e. \quad (18)$$

После подстановки выражений (17) и (18) в уравнение (2), а затем интегрируя полученное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, определим

$$N_e = \frac{m_a \cdot g \cdot r_\partial}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}} \cdot \left( \psi + K_{cy} \cdot \varphi \cdot \left( \frac{S_x}{1 - S_x} + \delta \right) \right) \cdot \omega_e - \frac{k \cdot F \cdot r_\partial^3 \cdot (1 - S_x)^2 \cdot (\delta - 1)}{\eta_{mp} \cdot u_{mp}^3} \cdot \omega_e^3. \quad (19)$$

Условие получения максимума функции (19) имеет вид

$$\omega_N = \frac{u_{mp}}{r_\partial \cdot (1 - S_x)} \cdot \sqrt{\frac{m_a \cdot g \cdot \left( \psi + K_{cy} \cdot \varphi \cdot \left( \frac{S_x}{1 - S_x} + \delta \right) \right)}{3 \cdot k \cdot F \cdot (\delta - 1)}}, \quad (20)$$

где  $\omega_N$  – угловая скорость вала двигателя, при которой достигается максимум функции (19).

Зависимость (19) представляет собой разгонную характеристику двигателя автомобиля, реализуемую на разных передачах при известном коэффициенте использования сцепного веса  $K_{cy}$ .

Для полноприводного автомобиля при реализации предельных касательных реакций на ведущих колесах  $K_{cy} = 1$ . Для заднеприводных и переднеприводных автомобилей соответственно

$$K_{cy} \cong \frac{a/L}{1 - \delta \cdot \varphi \cdot h/L}; \quad K_{cy} \cong \frac{b/L}{1 + \delta \cdot \varphi \cdot h/L}, \quad (21)$$

где  $a, b$  – расстояние от передней и задней осей автомобиля до проекции центра масс на горизонтальную плоскость,

$L, h$  – продольная колесная база и высота центра масс автомобиля.

Коэффициент учета вращающихся масс можно определить по эмпирической формуле [3]

$$\delta = 1.03 + 0.05 \cdot u_{КП}^2, \quad (22)$$

где  $u_{КП}$  – передаточное отношение коробки передач.

На рис. 1 приведены графики зависимости (19), построенные в функции  $\omega_e$  для различных передач.

Внешние разгонные характеристики автомобиля ГАЗ – 24, приведенные на рис. 1, не являются наилучшими, поскольку улучшение динамических свойств автомобиля не сопровождается увеличением максимальной скорости движения. Для достижения значений максимальной скорости  $V_{max}$ , приближающихся к предельным, необходимо уменьшать передаточные отношения трансмиссии  $u_{tr}$ . Это позволит увеличить угол наклона разгонных характеристик.

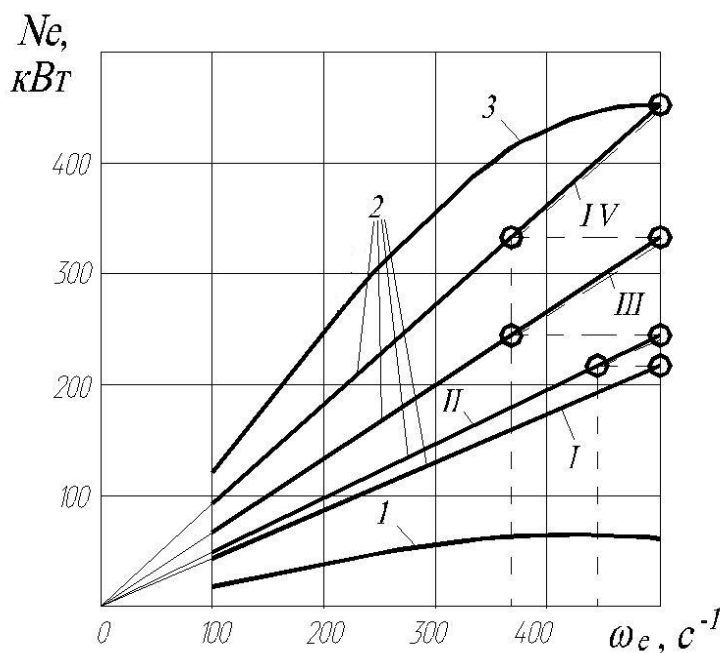


Рисунок 1 – Характеристики двигателя для автомобиля ГАЗ-24: 1 – внешняя скоростная характеристика двигателя ЗМЗ-24; 2 – требуемые разгонные характеристики двигателя на различных передачах; 3 – внешняя скоростная характеристика двигателя, обеспечивающая реализацию потенциальных динамических свойств ГАЗ-24

### Выводы

Полученные внешние разгонные характеристики двигателя позволяют определить предельные динамические возможности автомобиля. Анализ динамических характеристик автомобиля ГАЗ-24 показал, что для получения внешних разгонных характеристик двигателя максимальную мощность  $N_{e\ max}$  последнего нужно увеличить до 450 кВт.

**Список литературы:** 1. Федюкин В.Н. Основы квалиметрии. Управление качеством продукции. Учебное пособие. – М.: Филинь, 2004. – 296 с. 2. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств (Методика оценки эффективности использования). – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 160 с. 3. Бортницкий П.И., Задорожный В.И. Тягово-скоростные качества автомобилей: - К.: Вища школа, 1978. – 176 с. 4. Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. - М.: Машгиз, 1963. – 239 с.